

©1994 г.

НОВЫЙ МЕТАСТАБИЛЬНЫЙ ЦЕНТР В ОБЛУЧЕННОМ GaAs

Т.И.Кольченко, В.М.Ломако

Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко при Белорусском государственном университете, 220064, Минск, Беларусь
(Получена 13 сентября 1993 г. Принята к печати 9 декабря 1993 г.)

С помощью измерений нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней в *n*-GaAs, облученном электронами ($E = 3.5$ МэВ), наблюдался неизвестный ранее центр, проявляющий сложное метастабильное поведение (*C*-центр). Определено, что энергия активации эмиссии центра составляет ~ 0.3 эВ, а эффективность введения существенно зависит от энергии бомбардирующих электронов и технологии выращивания материала. Совокупность полученных экспериментальных результатов позволила заключить, что *C*-центр является комплексом, включающим атом легирующей или остаточной примеси. Предполагается, что метастабильность центра обусловлена его внутренней перестройкой, контролируемой зарядовым состоянием.

Помимо *EL2* в GaAs в последние годы обнаружен и ряд других центров, проявляющих сложное метастабильное поведение [1-3]. В данной публикации сообщается еще об одном дефекте такого типа.

Исследовались структуры с барьером Шоттки на основе кристаллов GaAs:Te, выращенных методом направленной кристаллизации с $n_0 = (2-3) \cdot 10^{17}$ см⁻³. Дефекты вводились путем облучения электронами с $E = 0.9$ и 3.5 МэВ. Проводились измерения *C-V*-характеристик и нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ).

На рис. 1 представлен спектр НЕСГУ исследуемой структуры после облучения электронами с $E = 3.5$ МэВ. Наряду с пиками НЕСГУ, характерными для облученных структур на основе эпитаксиального арсенида галлия [4], при $T = 150$ К в спектре присутствует новый пик (*C*). Определено, что он характеризуется значением энергии активации термоэмиссии $E_a = 0.3$ эВ (рис. 2,а). Результаты эксперимента свидетельствовали о том, что процесс захвата электронов на *C*-центр носит сложный характер (рис. 2,б). Увеличение амплитуды пика НЕСГУ наблюдалось при изменении длительности импульса заполнения Δt в пределах 3 порядков величины и не описывалось зависимостью $\Delta c(\Delta t) = \Delta c_{\max} \cdot \{1 - \exp(-C_n n \Delta t)\}$, соответствующей экс-

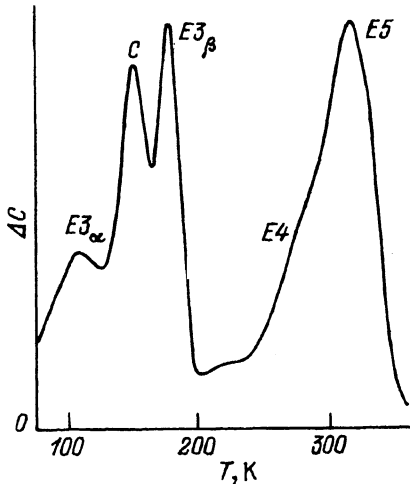


Рис. 1. Спектры НЕСГУ структур на основе GaAs:Te, выращенного методом направленной кристаллизации, после облучения электронами с $E = 3.5$ МэВ ($\Phi = 10^{16}$ см $^{-2}$) ($\epsilon_n^{-1} = 1.31 \cdot 10^{-2}$ с, $\Delta t = 10^{-2}$ с).

пониженному процессу захвата. Простейшие оценки показали, что процесс захвата электронов на C -центр является термически активируемым, а величина энергии активации составляет ≈ 0.2 эВ (рис. 2,а).¹

Процесс захвата может быть сложным и активационным в случае центров с метастабильными свойствами, когда процессы эмиссии и захвата носителей заряда сопровождаются переходами между различными конфигурационными состояниями центра [5,6]. Проведение серии экспериментов при варьировании длительностей заполняющих импульсов и условий охлаждения образцов перед началом температурного сканирования позволило определить условия, при которых указанный дефект проявляет конфигурационную нестабильность. Было установлено, что C -пик не наблюдается в спектре НЕСГУ, если охлаждение структуры до $T = 78$ К проводится при положительном смещении, обеспечивающем плотность прямого тока ~ 100 А/см 2 , либо инжектирующее смещение прикладывается при $T < 120$ К после охлаждения до указанной температуры при обратном смещении на барьере Шоттки (рис. 2,с). Указанное явление было полностью обратимым. Любой из спектров, приведенных на рис. 2,с, можно было точно воспроизвести путем подачи или снятия инжектирующего смещения при охлаждении структуры. Наблюдаемая особенность поведения позволила четко распознать C -центр среди других электронных ловушек, вводимых в результате облучения.

Было установлено, что эффективность образования C -центра сильно зависит от энергии бомбардирующих электронов. В материале, облученном электронами с $E = 0.9$ МэВ, дефект не наблюдался на фоне других известных ловушек. Последнее свидетельствовало о том, что относительная скорость введения этого центра в интервале энергий 0.8–3.5 МэВ растет по меньшей мере на порядок величины, а энергетическая зависимость скорости введения заметно отличается от подобных зависимостей для дефектов $E1-E5$ [7]. Отсутствие пика, об-

¹ В GaAs с $n_0 > 10^{17}$ см $^{-3}$ процессы эмиссии электронов могут заметно ускоряться вследствие электрополевых эффектов ($E \gtrsim 10^5$ В/см), поэтому полученные значения энергии активации эмиссии и захвата следует рассматривать лишь как оценочные.

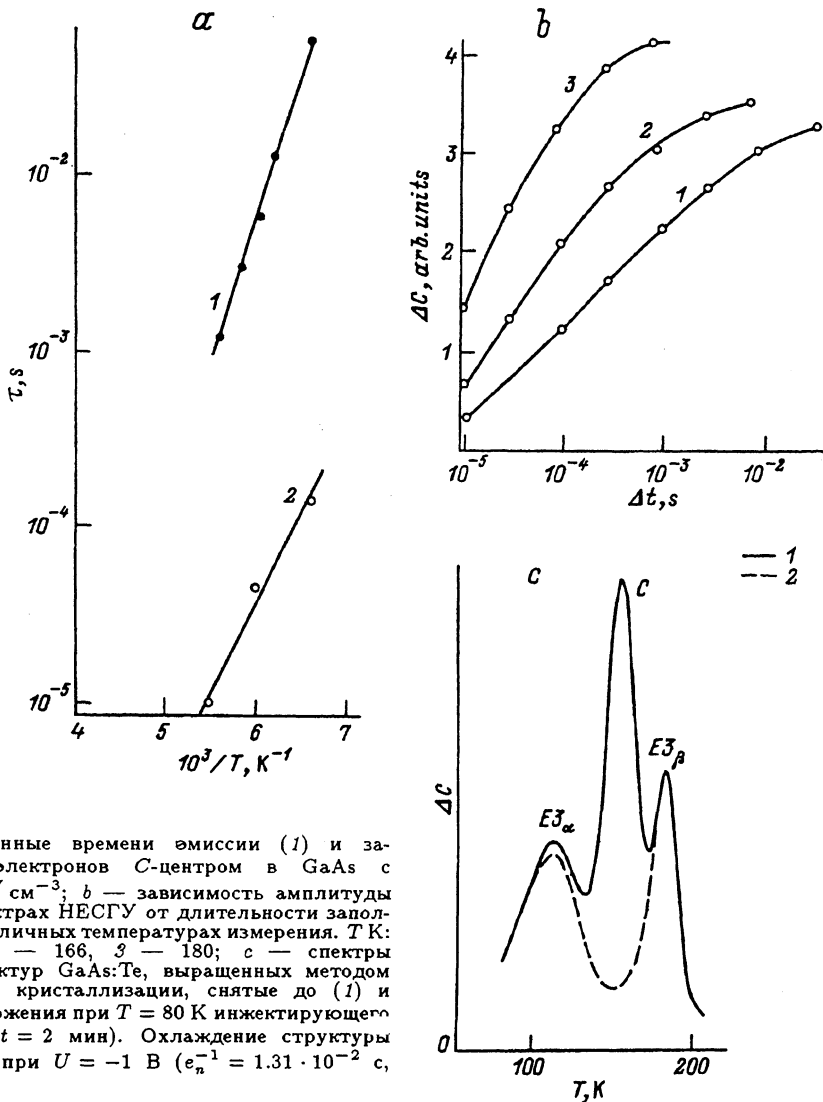


Рис. 2.

a — постоянные времени эмиссии (1) и захвата (2) электронов *C*-центром в GaAs с $n_0 = 2.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; *b* — зависимость амплитуды *C*-пика в спектрах НЕСГУ от длительности заполнения при различных температурах измерения. Т К: 1 — 151, 2 — 166, 3 — 180; *c* — спектры НЕСГУ структур GaAs:Te, выращенных методом направленной кристаллизации, снятые до (1) и после (2) наложения при $T = 80 \text{ K}$ инжектирующего смещения ($\Delta t = 2 \text{ мин}$). Охлаждение структуры проводилось при $U = -1 \text{ В}$ ($e_n^{-1} = 1.31 \cdot 10^{-2} \text{ с}$, $\Delta t = 10^{-3} \text{ с}$).

условленного *C*-центром, в спектре НЕСГУ эпитаксиального арсенида галлия, облученного электронами с $E = 4 \text{ МэВ}$ [4], указывает на то, что эффективность введения этого центра существенно зависит от технологии выращивания материала. Последнее коренным образом отличает исследуемый дефект от известных центров $E1-E5$ и позволяет предположить, что *C*-центр является комплексом, включающим атомы легирующей (Te) или остаточной примеси.

Результаты изохронного отжига дефектов в исследуемых кристаллах свидетельствовали о том, что *C*-центр отжигается при $T = 200 \text{ °C}$ практически синхронно с отжигом известной ловушки $E5$.

Таким образом, в *n*-GaAs наблюдался неизвестный ранее центр радиационной природы, проявляющий метастабильные свойства. Сово-

купность полученных экспериментальных результатов и имеющиеся в литературе сведения [5,6] позволили предположить, что метастабильность *C*-центра обусловлена контролируемой зарядовым состоянием внутренней перестройкой комплекса.

Список литературы

- [1] W.R. Bushwald, N.M. Johson, L.P. Trombetta. *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1007 (1987).
- [2] В.А. Иванюкович, В.И. Карась, В.М. Ломако. *ФТП*, **2**, 264 (1989).
- [3] Hoon Young Cho, Ean Kyu Kim et al. *Appl. Phys. Lett.*, **58**, 1866 (1991).
- [4] Т.И. Кольченко, В.М. Ломако. *ФТП*, **24**, 295 (1990).
- [5] M. Levinson. *J. Appl. Phys.*, **58**, 2628 (1985).
- [6] A. Chantre, D. Bois. *Phys. Rev. B*, **31**, 7979 (1985).
- [7] D. Pons, P.M. Mooney, J.C. Bourgoin. *J. Appl. Phys.*, **51**, 2038 (1980).

Редактор В.В. Чалдышев
